



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Proyecto de Innovación

Convocatoria 2016/2017

Nº de proyecto: 21

Título del proyecto: Atlas Metalográfico como Recurso Didáctico en el Aprendizaje de Microestructuras de Aleaciones de Interés Tecnológico

IP: Raúl Arrabal Durán

Facultad de Ciencias Químicas

Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica

Resumen del proyecto

El fin del proyecto de innovación es la realización de un Atlas Metalográfico, en formato físico y publicado *online* en abierto, acompañado de las correspondientes probetas para su uso en laboratorios de alumnos. Dicho atlas se crea como un recurso didáctico que completa la formación del alumnado en las asignaturas impartidas por el Departamento de Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica en los Grados de Ingeniería de Materiales y Química de las Facultades de Ciencias Químicas y Ciencias Físicas.

1. Objetivos propuestos en la presentación del proyecto

El objetivo principal del proyecto consiste en la elaboración de un recurso didáctico en forma de Atlas Metalográfico que sirva como complemento al currículum de las siguientes asignaturas:

Grado en Ingeniería de Materiales

- 804511 Diagramas y transformaciones de fases OB (80 alumnos)
- 804520 Materiales metálicos OB (70 alumnos)
- 804524 Laboratorio integrado OB (40 alumnos)

Grado en Química

- 801492 Ciencia de Materiales OB (240 alumnos)
- 801513 Materiales metálicos: obtención y comportamiento en servicio OP (50 alumnos)

Grado en Ingeniería Química

- 801536 Ciencia de Materiales OB (100 alumnos)

Máster en Ciencia y Tecnología Química

- 605198 Metalurgia OB (10 alumnos)

Máster en Ingeniería de Materiales (en proceso de elaboración)

Todas las asignaturas mencionadas, impartidas por el Dpto. Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica, constan de sus respectivas prácticas de laboratorio. Los recursos didácticos utilizados en dichos laboratorios han demostrado su eficacia educativa durante un elevado número de años, sin embargo, carecen de un enfoque actualizado desde el punto de vista metalográfico, al prácticamente no considerarse el estudio de aleaciones comerciales. En su lugar, se estudian sistemas de menor complejidad (metales puros y aleaciones con uno o dos aleantes) y que permiten asentar conocimientos fundamentales sobre metalurgia. El presente proyecto pretende corregir dicha deficiencia mediante la inclusión de un gran número de aleaciones comerciales tanto férreas como no férreas de interés tecnológico. Las aleaciones seleccionadas son en su mayoría de procedencia comercial y corresponden a las que habitualmente se utilizan en aplicaciones estructurales en las industrias del transporte, civil, química, energética o biomédica. En definitiva, se pretenden conseguir dos objetivos específicos:

- 1) Creación de un **Atlas Metalográfico** ilustrado con micrografías ópticas en color acompañadas por una breve, pero completa, descripción microestructural y otros datos de interés (designación de la aleación, composición, dureza, microconstituyentes, diagrama de fases, etc.). El contenido de dicho atlas, publicado en formato físico y electrónico, permitirá al alumno familiarizarse no sólo con la terminología habitual en metalografía sino también con la interpretación de microestructuras correspondientes a aleaciones de interés tecnológico.
- 2) Creación de **material de laboratorio** en forma de probetas (muestras) de aleaciones metálicas, seleccionadas en base a criterios teóricos y prácticos, distribuidas en grupos lógicos en cuanto a su composición y/o microestructura. Las probetas podrán ser reutilizadas todos los años, siendo los propios alumnos los que realicen su correspondiente preparación metalográfica: desbaste, pulido, ataque metalográfico, así como la observación en microscopio óptico.

El presente proyecto propone, por tanto, la elaboración de una colección de probetas, a un coste muy reducido, lo suficientemente amplia para garantizar que tanto profesorado como alumnado dispongan de los recursos suficientes para el desarrollo de las prácticas de laboratorio. Esta colección servirá principalmente como material didáctico para las prácticas correspondientes a la asignatura “Laboratorio Integrado” del Grado de Ingeniería de Materiales, impartida por el Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica. En este grado, recientemente implantado en la UCM, el Departamento ha realizado un considerable esfuerzo en la elaboración de un amplio y variado programa de prácticas de laboratorio que completa los conocimientos teóricos de las asignaturas. Una de las soluciones temporales adoptada ha venido siendo la utilización de una colección metalográfica adquirida a una casa comercial hace más de 40 años y que ha cumplido su fin satisfactoriamente. Sin embargo, el número de sistemas de aleación y probetas en dicha colección (1 ó 2 muestras de cada aleación) ha demostrado ser, en los dos últimos años, un factor limitante en la realización de las prácticas, debido al aumento en el número de estudiantes matriculados.

2. Objetivos alcanzados

En el proyecto se han conseguido realizar los siguientes objetivos propuestos:

- Con los fondos asignados al proyecto, se ha adquirido una **cámara USB de alta resolución** para obtener las fotomicrografías ópticas que componen el Atlas Metalográfico (**Figura 1**). Se ha elaborado un **póster en soporte de metacrilato** y que actualmente se encuentra en la Sala de Microscopios del Laboratorio de alumnos/as del Departamento (**Figura 2**). El póster muestra las principales macroestructuras del mencionado Atlas Metalográfico, ayudando a visualizar e interpretar las distintas aleaciones. Sirve, además, de guía *in situ* al alumnado en la realización de las prácticas de laboratorio. La cámara y el póster han pasado a formar parte del material de laboratorio del Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica.

- **Se han incorporado a la colección de probetas del laboratorio aleaciones metálicas de procedencia comercial** (donadas por empresas o grupos de investigación) y que servirán como material de laboratorio para la realización de las prácticas que forman parte del currículum de las asignaturas del Departamento de Ciencia de los Materiales (**Figura 3**). Las aleaciones seleccionadas corresponden a las que habitualmente se utilizan en aplicaciones estructurales en la industria del transporte, civil, química, energía y biomedicina, entre otras. El número de probetas obtenidas por cada aleación (x20) es más que suficiente para trabajar con grupos de estudiantes relativamente numerosos.
- Se ha elaborado un **Atlas Metalográfico ilustrado, publicado en formato físico (ISBN: 9781389972416) y online (www.ucm.es/atlasmetalografico)**, éste último con el editor web gratuito de la UCM (**Figura 4**). Dicho Atlas es de acceso abierto para todo el alumnado matriculado en las asignaturas del Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica. Este recurso didáctico sirve para complementar los conocimientos adquiridos en las asignaturas teóricas y como material de apoyo para realizar los informes de laboratorio. De otra parte, la creación de un libro o atlas metalográfico de materiales de uso industrial con datos tecnológicos (microestructura, designación de la aleación, composición, diagrama de fases, composición, dureza, etc.) tiene un impacto potencial para empresas o instituciones externas a la UCM pertenecientes al sector de la ingeniería de materiales.
- Con objeto de difundir los resultados obtenidos a la comunidad Complutense y otras entidades ajenas a la misma se han utilizado herramientas *online* como son la página web <https://www.ucm.es/ccrm/> y la plataforma Multimat Challenge (<http://www.multimat.org/metallographic-atlas/>). Adicionalmente, se ha difundido la información a través de contactos pertenecientes a gran variedad de universidades y centros (Universidad Rey Juan Carlos, Universidad de Valladolid, Universidad Politécnica de Madrid, Fundación Cidaut, CENIM, etc.).

3. Metodología empleada en el proyecto

Los objetivos planteados en el proyecto se han conseguido utilizando la siguiente metodología:

(1) Selección de aleaciones de interés tecnológico

Se seleccionaron aleaciones comerciales, tanto de forja como de moldeo, de uso común en las industrias del transporte, química, civil, energía y biomedicina de interés académico/tecnológico para estudiantes que cursan asignaturas de Ciencia e Ingeniería de Materiales. Las aleaciones fueron cedidas por distintas empresas (Fundación Cidaut, Iberespacio, etc.) y grupos de investigación del departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica.

(2) Preparación de muestras

Las aleaciones se cortaron y se mecanizaron en el Taller Mecánico de Apoyo a la Investigación de la UCM. Posteriormente se embutieron, desbastaron y pulieron con objeto de eliminar marcas de corte y otros defectos.

(3) Ataque metalográfico

Para revelar las microestructuras de las aleaciones se realizó previamente una revisión bibliográfica de los ataques químicos, priorizando ataques coloreados. Posteriormente, se normalizaron los tiempos y temperaturas de ataque necesarios para que el revelado de las distintas microestructuras fuera el óptimo.

(4) Micrografías ópticas

Las micrografías se realizaron con un equipo REICHERT MEF4 A/M utilizando una cámara de alta resolución, adquirida en el presente proyecto.

(5) Micrografías SEM

En algunos casos aislados se recurrió a la microscopía electrónica de barrido (SEM) con objeto de identificar la composición de fases secundarias presentes en las aleaciones.

(6) Descripción de las micrografías

La descripción de las micrografías obtenidas se interpretó en función de las composiciones de las aleaciones y de los diagramas de equilibrio, poniendo el acento en el tamaño, forma y distribución de todos los microconstituyentes y su influencia en las propiedades y aplicaciones industriales de las aleaciones.

(7) Diagramas de fase

Los diagramas de equilibrio utilizados proceden en su mayoría de la colección ASM (*ASM Handbook: Volume 3: Alloy Phase Diagrams*), aunque adaptados para su mejor visualización en dispositivos electrónicos (**Figura 5**).

(8) Elaboración del Atlas Metalográfico

A partir de toda la documentación obtenida, se creó un Atlas Metalográfico tanto en formato físico como *online* en la página www.ucm.es/atlasmetalografico.

(9) Coordinación y seguimiento del proyecto

Todos los meses se realizó una breve reunión de seguimiento del proyecto (Se empleó Google Drive como medio para acceder a la información generada durante el proyecto).

4. Recursos humanos

El equipo que ha participado en el proyecto tiene una amplia experiencia docente e investigadora tanto en los métodos de preparación de las muestras para su observación microestructural como en las aplicaciones industriales de las aleaciones recopiladas en el Atlas Metalográfico. Cuenta con dos catedráticos (Angel Pardo del Cid y M^a Concepción Merino Casals), dos profesores titulares (Consuelo Gómez de Castro y Jesús Angel Muñoz Muñoz), dos profesores contratados doctores (Raúl Arrabal Durán y Endzhe Matykina), una investigadora contratada (Marta Mohedano), un técnico de laboratorio (Gerardo Mateo) y tres jóvenes investigadores (Beatriz Mingo, Javier Sancho y Pedro Javier Sánchez).

Dr. Raúl Arrabal Durán (IP del proyecto). Tiene amplia experiencia en aleaciones ligeras. Imparte docencia en los Grados de Ingeniería de Materiales y Química. En los últimos años ha participado de manera activa en la puesta a punto y mejora de las prácticas de laboratorio incluidas en la asignatura "Laboratorio Integrado", de la que es actualmente coordinador. También ha llevado a cabo las tareas de coordinación del proyecto.

Dr. Ángel Pardo Gutiérrez del Cid, principal impulsor de la idea del proyecto, cuenta con una amplia experiencia en docencia e investigación relacionada con la metalurgia y los materiales metálicos. Imparte asignaturas en el Grado de Ingeniería de Materiales y el Máster en Ciencia y Tecnología Químicas. Aporta un gran número de contactos con empresas del sector metalúrgico que han permitido ampliar la colección de muestras.

Dra. M^a Concepción Merino Casals, imparte la mayoría de su docencia en el Grado de Ingeniería de Materiales, destacando la asignatura "Diagramas y transformaciones de fases", estrechamente relacionada con la temática del proyecto. Cuenta con una larga trayectoria investigadora en aceros y fundiciones. Recientemente ha publicado un libro didáctico sobre diagrama y transformaciones de fase en la plataforma Reduca de acceso abierto (<http://www.revistareduca.es/index.php/reduca/issue/view/85>) y otro sobre Aceros inoxidables (Dextra Editorial, ISBN 978-84-16898-22-0).

Dra. Consuelo Gómez de Castro imparte las asignaturas "Ciencia de materiales" y "Laboratorio integrado" entre otras. También cuenta con experiencia investigadora en diferentes aleaciones metálicas. Ha participado previamente en proyectos de innovación docente.

Dr. Jesús Ángel Muñoz Sánchez con amplia experiencia sobre preparación y obtención de materiales metálicos. Ha impartido docencia en la mayoría de asignaturas indicadas en el apartado 1 de la presente memoria.

Dra. Endzhe Matykina, con experiencia docente en asignaturas de "Ciencia de materiales" y "Materiales compuestos". Especializada en aleaciones de titanio. Ha participado en el diseño y en la elaboración de guiones de varias prácticas de laboratorio.

Dra. Marta Mohedano, Investigadora del programa Retos Jóvenes investigadores. Especializada en aleaciones de magnesio. Miembro del comité Young-EFC, iniciativa de la Federación Europea de Corrosión para conectar jóvenes investigadores con profesionales.

Beatriz Mingo, estudiante de doctorado, especializada en aleaciones ligeras. Es colaboradora honorífica en múltiples prácticas de laboratorio con experiencia en actividades de divulgación científica.

El proyecto también ha contado con la participación **Javier Sancho y Pedro Javier Sanchez**, jóvenes investigadores con formación y experiencia en metalografía. También hay que mencionar la colaboración de **Gerardo Mateo**, técnico de laboratorio

a cargo del mantenimiento de prácticas de laboratorio de alumnos. Cuenta con gran experiencia en la preparación superficial de muestras.

5. Desarrollo de las actividades

Las actividades se han desarrollado de acuerdo al cronograma previsto. La coordinación del proyecto se llevó a cabo por el investigador principal del proyecto, Dr. Raúl Arrabal, quien mensualmente reunió a todos los participantes del proyecto para el seguimiento de su ejecución. Toda la información generada por cada miembro del equipo estaba disponible gracias a herramientas como Google Drive, de manera que todos los integrantes del proyecto tuvieron oportunidad de aportar ideas o sugerencias.

- **Octubre 2016-Diciembre 2016**

Durante este periodo se desarrollaron los puntos (1), (2), (3), (4), (6) y (9) especificados en el apartado “**3. Metodología**”, es decir, se seleccionaron las aleaciones que conformarían el Atlas Metalográfico (1), se prepararon las muestras (2), se atacaron con reactivos adecuados (3), se obtuvieron micrografías ópticas (4), se comenzó con la redacción de descripción de las microestructuras (6) y se realizaron tareas de coordinación y seguimiento (9). Paralelamente, se adquirió la mayor parte del material necesario para el desarrollo del proyecto. Los aspectos más relevantes en cada una de estas actividades se detallan a continuación.

En la actividad (1) se seleccionaron las aleaciones en base a principios académicos, pero sin perder de vista el interés industrial de las mismas. Gran parte de las aleaciones procedieron de grupos de investigación del Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica, aunque en algunos casos se recurrió a contactos en empresas o centros de investigación, tales como Fundación Cidaut e Iberespacio. El coste de adquisición del material fue nulo.

Debido a que parte de las aleaciones suministradas por las empresas presentaban una historia termo-mecánica desconocida, se llevaron a cabo tratamientos térmicos adecuados para desarrollar las microestructuras que se presentan y explican en el Atlas Metalográfico. Estos tratamientos se realizaron en los hornos del Departamento de Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica y forman parte de la actividad (2), donde también participó el Taller Mecánico de la UCM.

Previo al ataque químico de las probetas (3), se realizó una revisión bibliográfica con objeto de elegir el reactivo adecuado para revelar con nitidez la morfología de los distintos microconstituyentes en cada aleación, priorizando ataques coloreados.

Las micrografías ópticas de las muestras se obtuvieron con el equipo REICHERT MEF4 A/M perteneciente al grupo de investigación Preparación y Degradación de Materiales. La cámara utilizada en el proceso de adquisición de las imágenes forma parte del material inventariable del proyecto y actualmente ya se está utilizando en actividades docentes del Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica. Se utilizaron herramientas incluidas en el *software* Adobe Photoshop con objeto de unificar la tonalidad y contraste de las micrografías obtenidas.

La descripción de las microestructuras (6) comenzó con la adquisición de las primeras micrografías. Esta labor, distribuida entre los participantes del proyecto, fue de carácter individual, aunque revisada por el resto de integrantes con objeto de mantener la coherencia de contenidos. Adicionalmente, y fuera del objetivo del proyecto, se realizó un póster en metacrilato que actualmente está ubicado en el laboratorio de alumnos y que recopila las macroestructuras más utilizadas en las clases prácticas que imparte el Departamento de Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica.

- **Enero 2017-Junio 2017**

Se continuó con la interpretación de las micrografías de las muestras (6) y con las tareas de coordinación (9). Durante este periodo se elaboró también el Atlas Metalográfico en formato impreso y electrónico (8). La descripción de las micrografías obtenidas se fundamentó en la composición de cada aleación (aportada por las empresas suministradoras) y su correspondiente diagrama de equilibrio e historia termo-mecánica (tratamientos térmicos, trabajado en frío, conformación, etc.). Los diagramas de equilibrio (7) utilizados como referencia son los que se incluyen en el libro *ASM Handbook: Volume 3: Alloy Phase Diagrams*. La descripción de las muestras se centró en el tamaño, forma y distribución de todos los microconstituyentes, aunque también se analizó la influencia que esta microestructura pudiera tener en las propiedades y aplicaciones de cada una de las aleaciones constitutivas del Atlas Metalográfico. En algunos casos específicos, debido a su complejidad, se recurrió al estudio mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) y espectroscopía de energías dispersivas (EDS) (5). Se utilizó un equipo JEOL JSM-6400, el cual lleva incorporado un sistema OXFORD LINK PENTAFET 6506 de análisis EDS y un detector de electrones retrodispersados. Este microscopio se encuentra en el Centro Nacional de Microscopía situado dentro del recinto UCM.

Conviene mencionar que el **Atlas Metalográfico** creado en el presente proyecto es un recurso dinámico y adaptable a futuras necesidades, puesto que permite la incorporación de otras aleaciones que pudieran ser relevantes en la formación de estudiantes de Grado y Máster en las Facultades de Ciencias Físicas y Ciencias Químicas.

6. Anexo

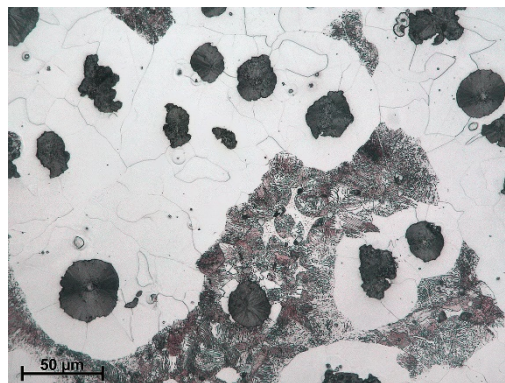
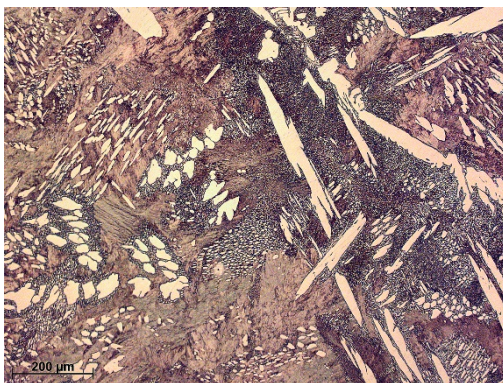
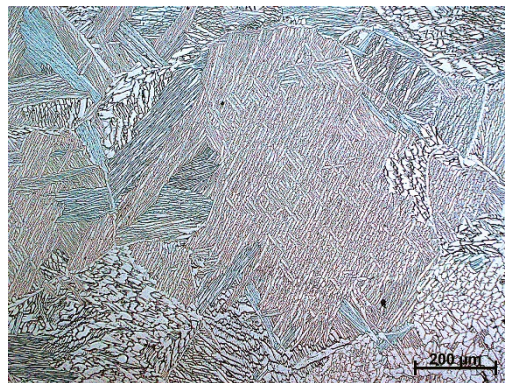
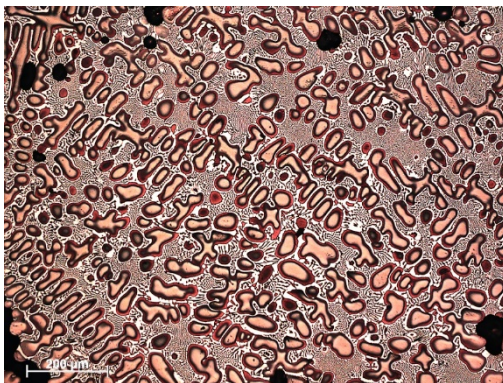


Figura 1. Cámara de alta resolución adquirida y ejemplos de micrografías obtenidas durante el desarrollo del proyecto.

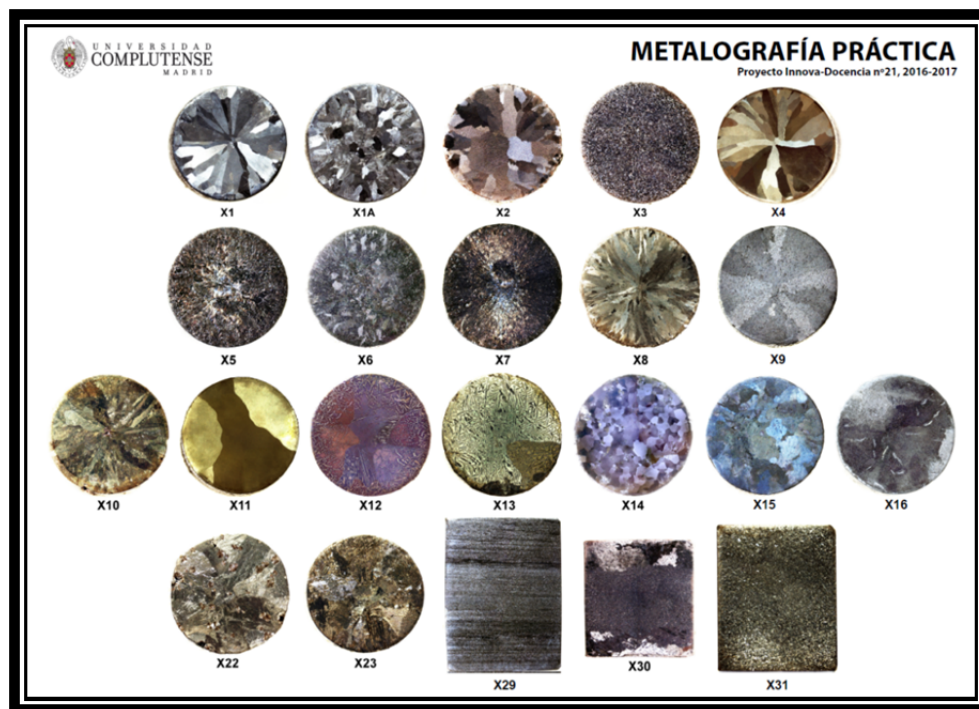
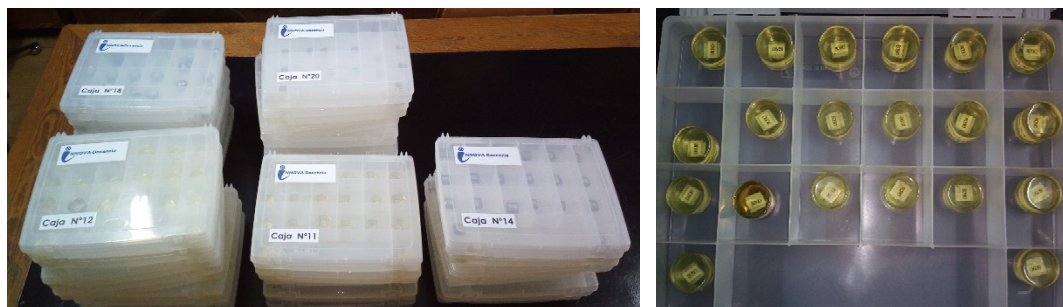
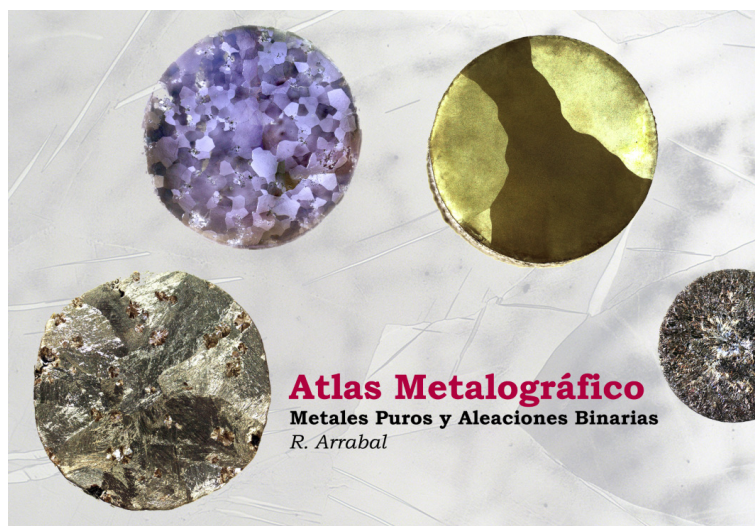


Figura 2. Póster con macrográficas de aleaciones metálicas y su ubicación en la Sala de Microscopios del Laboratorio de alumnos/as del Departamento de Ciencias de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica.



Aleación	Descripción
ACEROS	
AC1	Acero F114 bruto de colada
AC2	Acero F212 bruto de laminación
AC3	Acero al manganeso
AC4	Acero F114 con grieta de temple
AC5	Acero F114 con decarburación
AC7	Acero F114 globulizado
AC8	Acero F521 con carburos heterogéneos
AC9	Acero F522 con carburos homogéneos
AC10	Acero corrugado (sección transversal)
AC11	Acero corrugado (sección longitudinal)
FUNDICIONES	
F1	Fundición gris laminar (matriz perlítica)
F2	Fundición gris con grafito tipo A y tipo D (matriz perlítica)
F3	Fundición blanca hipoeutéctica
F7	Fundición maleable de corazón negro
F8	Fundición dúctil (matriz ferrítica con perlita residual)
F9	Fundición dúctil (matriz perlítica)
ALEACIONES DE ALUMINIO	
A361	Aleación Al-Si moldeada a presión
A356-M	Aleación Al-Si moldeada en arena
A356-RC	Aleación Al-Si moldeada por vía semisólida
Al14Si	Aleación Al-Si hipereutéctica
5086-SE	Aleación Al-Mg solubilizada y sobreenviejecida
5086-ST	Aleación Al-Mg solubilizada y templada
8090	Aleación Al-Li
2024	Aleación Al-Cu forja
7075	Aleación Al-Zn-Mg-Cu forja
ALEACIONES DE MAGNESIO	
AZ80	Aleación Mg-8Al
AZ91D	Aleación Mg-9Al-1Zn
ALEACIONES DE TITANIO	
Ti6Al4V-E	Estado de recepción
Ti6Al4V-R	Recocida
Ti6Al4V-D	Dúplex o bimodal
Ti6Al4V-F	Widmanstätten fina
Ti6Al4V-G	Widmanstätten grosera

Figura 3. Colección de probetas correspondientes a aleaciones comerciales, detalle de una de las cajas y listado de aleaciones comerciales incluidas.



COMPLUTENSE
PROYECTO DE INNOVACIÓN EDUCATIVA

Proyecto de Innovación Atlas Metalográfico

Buscar en la web

Metales puros y aleaciones binarias

Atlas Metalográfico como Recurso Didáctico en el Aprendizaje de Microestructuras de Aleaciones de Interés Tecnológico

Existen numerosas obras donde se describen aspectos fundamentales de la Ciencia e Ingeniería de los Metales. Sin embargo, estas son habitualmente excesivamente teóricas y/o extensas como para servir de guía rápida en la interpretación de microestructuras de aleaciones metálicas. Una herramienta alternativa es el empleo de atlas metalográficos como el que se incluye en la presente página web.

Los metalógrafos aquí recogidos han sido seleccionados cuidadosamente para que, además de resultar de elevada utilidad didáctica, sean representativos de los metalógrafos más demandados en la actualidad. Cada uno de ellos viene acompañado de información básica (composición, designación, procesamiento, preparación superficial...) y de una breve descripción de las mismas microestructuras presentadas. Al mismo se incluyen diagramas de equilibrio, que permiten establecer las fases que existen a cada temperatura, la composición de dichas fases de como las composiciones reales de cada una de ellas. Conviene recordar que estos diagramas, en principio, no van a indicar el tiempo que se necesita para que un sistema alcance el equilibrio previsto en el diagrama de fases, ni el tamaño, forma y distribución de las distintas fases posibles en el sistema y que van a condicionar sus propiedades, tampoco informan sobre la influencia que la velocidad de enfriamiento tiene sobre la estructura de la aleación o la posibilidad de que se produzcan segregaciones de uno o más componentes de un sistema.

Se trata en realidad de que, al conocer las condiciones normales de trabajo (para aleaciones, perfiles, laminados, forjados, etc.) y las temperaturas posteriores a la **METALURGIA** y su utilidad para poder establecer qué fase hay en un sistema, cuál es su forma, tamaño y distribución, si el material está en estado de moldeo o si ha sido sometido a algún tratamiento térmico o proceso de deformación en frío o en caliente.

Este obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

COMPLUTENSE
PROYECTO DE INNOVACIÓN EDUCATIVA

Portada « Metales puros y aleaciones binarias » X4

X4
Latón (48%Zn)

Composición: Cu-48Zn (Latón β').
Procesado: Moldeado en arena.
Ataque: Inmersión durante 1 min en solución acídica de HCl.

En su composición, según el diagrama de equilibrio Cu-Zn, corresponde a un campo monofásico β' que se enfriaba en todo el intervalo de temperatura. La fase β' por enfriamiento, transforma a una fase ordenada β' entre 424 y 488°C. Esta fase es la que, por lo que este tipo de aleación se suele utilizar para bujes y no tienen otra utilización industrial. La microestructura muestra una distribución de granos columnares típicos de un proceso de moldeo. Se observan también granos equiaxiales en la periferia, aunque con una distribución irregular debido a que la velocidad de enfriamiento no fue la misma en toda la pieza del molde. La micrografía a mayores aumentos muestra tanto el carácter monofásico de esta aleación como la ausencia de microsegregación. Se observa como en la confluencia de tres granos se forman ángulos de 120°, intentando alcanzar el equilibrio de las tensiones superficiales.

Figura 4. Portada del libro en formato físico (ISBN: 9781389972416) y detalles del Atlas Metalográfico publicado [online](http://www.ucm.es/atlasmetalografico) www.ucm.es/atlasmetalografico. La ficha de cada aleación incluye: composición, procesado, reactivo de ataque, descripción de las macro- y microestructuras, diagrama de fases y documentación adicional relevante.

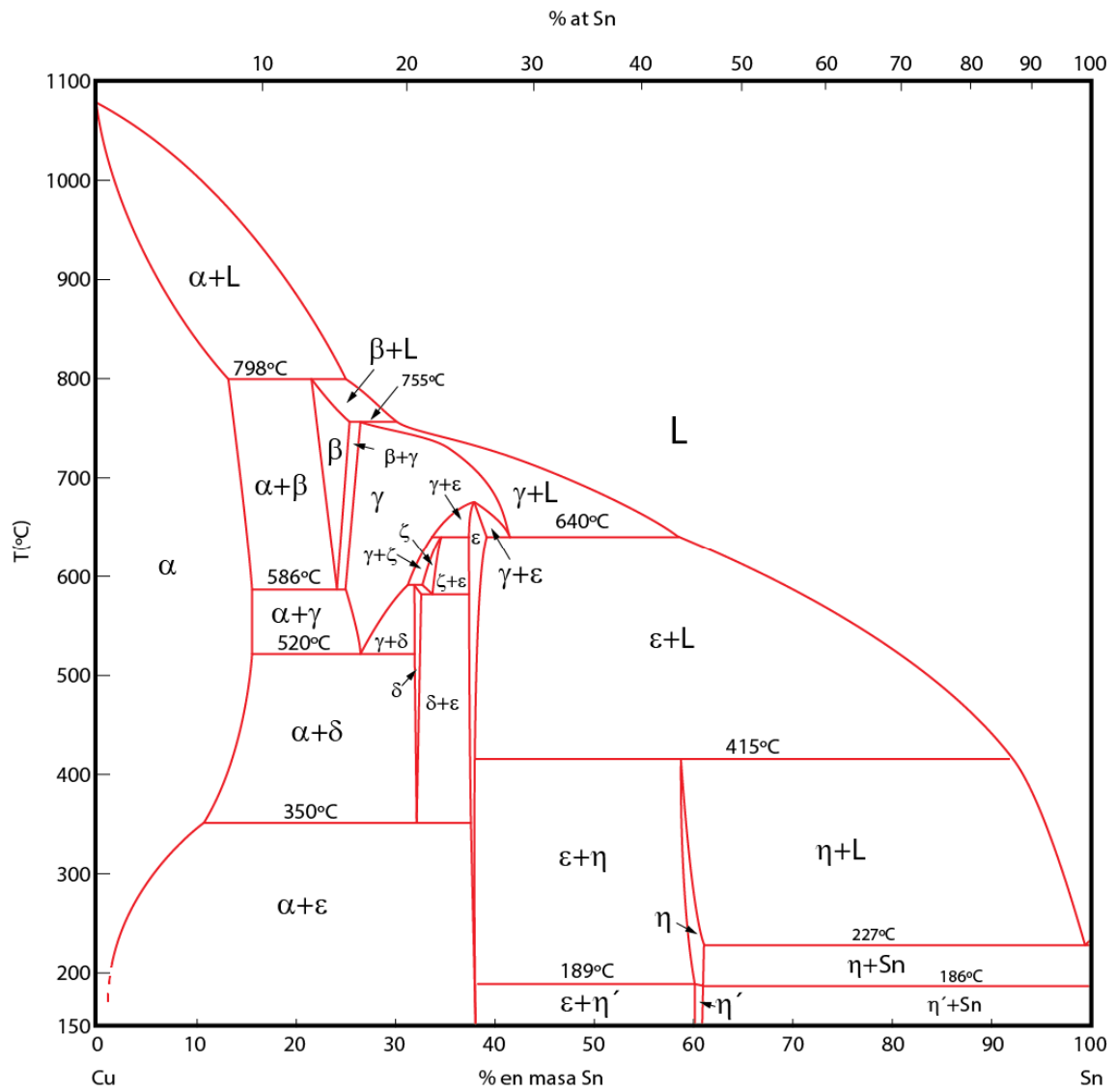


Figura 5. Ejemplo de diagrama de fases incluido en el Atlas Metalográfico.